



Republik
Österreich
Patentamt

(11) Nummer: AT 397 157 B

PATENTCHRIFT

(12)

(21) Anmeldenummer: 4681/82

(22) Anmeldetag: 24.12.1982

(42) Beginn der Patentdauer: 15. 6.1993

(45) Ausgabetag: 25. 2.1994

(51) Int.Cl.⁵ : G01B 21/00

(56) Entgegenhaltungen:

DE-OS2729697 DE-OS3024716 DE-OS3036830 US-PS3618073

(73) Patentinhaber:

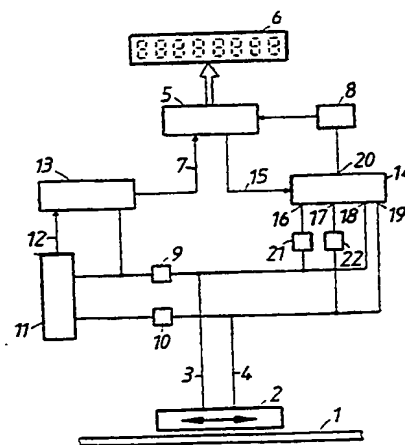
RIEDER HEINZ
A-5110 OBERNDORF, SALZBURG (AT).
SCHWAIGER MAX
A-5121 OSTERMIETHING, OBERÖSTERREICH (AT).

(72) Erfinder:

SWATEK HARALD DIPL.ING.
ST. MICHAEL, BURGENLAND (AT).
SCHWAIGER MAX
OSTERMIETHING, OBERÖSTERREICH (AT).
RIEDER HEINZ
OBERNDORF, SALZBURG (AT).

(54) VERFAHREN ZUM AUSWERTEN VON MESSSIGNALEN, DIE DURCH ABTASTUNG EINES INKREMENTALMASSSTABES MIT EINER ABTASTEINHEIT ERZEUGT WERDEN UND MESSEINRICHTUNG ZUR DURCHFÜHRUNG DIESES VERFAHRENS

(57) Bei einem Verfahren zum Auswerten von Meßsignalen, die durch Abtastung eines Inkrementalmaßstabes (1) mit einer Abtasteinheit (2) erhalten werden, wobei wenigstens zwei analoge in ihrer Grundform sinusförmige und gegeneinander phasenverschobene Signale ($\sin a$, $\cos a$) erzeugt und über einen Rechner (5) ausgewertet werden, wird die Verstellrichtung der Abtasteinheit gegenüber dem Maßstab bestimmt und der Rechner (5) wird mit Signalen beaufschlagt, die diese Verstellrichtung angeben. Die Meßsignale ($\sin a$, $\cos a$) werden in einem AD/Wandler (8) digitalisiert und dem Rechner zugeführt. Aus der Abtastung wenigstens eines vollständigen Signalzuges werden Korrekturwerte zur Normierung der Signale ($\sin a$, $\cos a$) bezüglich der Amplitude, des Gleichspannungsanteiles und der Phasenlage ermittelt und der Rechner (5) wird mit diesen Korrekturwerten kalibriert, so daß er der Interpolationsberechnung von Inkrementbruchteilen der Teilung entsprechenden Signalen einen korrigierten Signalverlauf zugrundelegt. Im Rechner wird auch die Anzahl der in der Meßstrecke erhaltenen vollen Teilungsinkremente des Maßstabes erfaßt und mit dem Ergebnis der Interpolationsberechnung zum Anzeigewert verknüpft.



AT 397 157 B

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Auswerten von Meßsignalen, die durch Abtastung, insbesondere optoelektronische eines Inkrementalmaßstabes mit einer Abtasteinheit erzeugt werden, wobei wenigstens zwei analoge, in ihrer Grundform sinusförmige und gegeneinander phasenverschobene Signale mit der Meßteilung des Inkrementalmaßstabes entsprechender Signallänge erzeugt und diese Meßsignale über einen Rechner ausgewertet werden, der eine Anzeige- bzw. Auswerteeinheit steuert, wobei für diese Auswertung einerseits die analogen Meßsignale einer Richtungserkennungsstufe zur Bestimmung der Zählrichtung und zur Erzeugung eines entsprechenden Steuersignales zugeleitet, sowie gegebenenfalls wenigstens eines von ihnen über Umformer- und Triggerstufen zur Erzeugung von an bestimmten Signalstellen getriggerten Zählsignalen geführt und andererseits die Meßsignale auf wenigstens einen A/D-Wandler gelegt werden, wobei dem Rechner sowohl das Richtungssignal und das gegebenenfalls erzeugte Zählsignal als auch die am A/D-Wandler anstehenden Digitalwerte zugeführt werden, so daß das Meßergebnis als Summe aus dem sich aus den durchlaufenen vollen Signalzügen der Meßsignale ergebenden Teilwert und einem sich durch Interpolationsberechnung der Signalwertbruchteile aus den anstehenden Digitalwerten ergebenden Teilwert erhalten wird, wobei für die Interpolationsberechnung im Rechner Korrekturen nach zur Berücksichtigung von Abweichungen im Signalverlauf der analogen Meßsignale bei an verschiedenen Meßteilungsinkrementen erzeugten Signalteilen, insbesondere bezüglich der Amplitudenhöhe, der Gleichspannungsanteile und der Phasendifferenz ermittelten Korrekturwerte vorgenommen werden.

Die Erfindung betrifft auch eine Meßeinrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens, mit einer Auswerteeinheit für wenigstens zwei mittels einer Abtasteinheit bei der Relativverstellung gegenüber einem Inkrementalmaßstab erzeugte analoge, gegeneinander phasenverschobene und in ihrer Grundform sinusförmige Meßsignale, bei denen ein vollständiger Signalzug einem abgetasteten Teilungspaar auf der Inkrementalteilung entspricht, wobei die Auswerteeinheit für die analogen Signale einerseits eine Richtungserkennungsstufe sowie eine Umformer- bzw. Triggerstufe zur Erzeugung von Richtungssignalen bzw. von insbesondere beim Nulldurchgang der Signale getriggerten Zählsignalen und andererseits wenigstens einen A/D-Wandler aufweist und ein Rechner, beispielsweise ein Mikroprozessor vorgesehen ist, der mit dem A/D-Wandler, der Richtungserkennungsstufe und der Umformer- bzw. Triggerstufe verbunden ist und aus anstehenden Digitalwerten entsprechend der jeweiligen Zwischenstellung der Abtasteinheit Interpolationswerte für die Zählsignale errechnet und der entsprechend dem momentanen Zähl- bzw. Interpolationswert eine Anzeige- bzw. Auswerteeinheit steuert, wobei dem Rechner wenigstens eine Korrekturstufe zur Berücksichtigung von Änderungen im Signalverlauf der an verschiedenen Meßteilungsinkrementen erzeugten Signalteile zugeordnet ist. Änderungen im Signalverlauf können Asymmetrien sein oder auch in Form von Änderungen der Amplitudenhöhe, des Gleichspannungsanteiles, der Phasenlage und der Signalform auftreten.

Verfahren und Meßeinrichtungen der gegenständlichen Art wurden geschaffen, um das Auflösungsvermögen und die Anzeigegenauigkeit bei Inkrementalmessungen, insbesondere bei Längen- und Winkelmessungen zu verbessern. Ursprünglich konnte bei der Abtastung einer Inkrementalteilung pro abgetasteter, aus jeweils einem Hell- und einem Dunkelfeld bestehender Teilungseinheit nur eine beschränkte Anzahl von Signalen erzeugt werden, wobei grundsätzlich nur Zählsignale erzeugt und zur Steuerung eines Vor-Rückwärtszählers verwendet wurden. Triggert man die Nulldurchgänge von zwei um 90° gegeneinander versetzten, analogen, in ihrer Grundform sinusförmigen Meßsignalen, so erhält man pro Teilungseinheit vier Zählsignale. Durch Vervielfacherschaltungen, insbesondere Potentiometerschaltungen kann man aus den beiden phasenverschobenen Signalen mehrere Analogsignale gewinnen und deren Nulldurchgang triggern. In der Praxis hat man so pro Maßstabeinheit bis zu zwanzig Zählsignale erzeugt. Es ergibt sich ein großer Schaltungsaufwand. Ein entscheidendes Problem besteht auch darin, daß jedes Signal ein Zählsignal darstellt, weshalb man Zähler mit sehr hoher Zählfrequenz verwenden muß um zu in der Praxis brauchbaren, großen Abtastgeschwindigkeiten des Maßstabes zu gelangen.

Bereits aus der US-PS 3 618 073 ist es bekannt, aus ihren Verlauf periodisch ändernden Signalspannungen durch Digitalisierung und Verwendung eines Rechners Interpolationswerte zu errechnen und so praktisch eine beliebige Unterteilung der Maßstabeinheiten vorzunehmen, wobei die erhaltenen Interpolationswerte unmittelbar einer Anzeige zugeführt werden können.

Nach einer Weiterbildung dieses Verfahrens wird sowohl ein über die getriggerten Analogsignale gesteuerter Zähler als auch ein über einen A/D-Wandler mit wenigstens einem Analogsignal entsprechenden Digitalwerten beaufschlagter Rechner verwendet, der auch mit den Zählsignalen beaufschlagt werden kann. Die Zählsignale und die vom Rechner errechneten Interpolationswerte werden einer gemeinsamen Anzeige zugeführt, wobei eine Möglichkeit darin besteht, die beiden letzten Anzeigestellen für die Anzeige der Interpolationswerte, die übrigen Anzeigestellen aber für die Anzeige des Zählerstandes einzusetzen. Der Rechner erfüllt die Zusatzaufgabe, die Zählsignale und die Interpolationswerte einander eindeutig zuzuordnen.

Eine sehr feinstufige Unterteilung durch Interpolation ist nur dann sinnvoll, wenn die Feinstufigkeit der Anzeige der tatsächlich vorhandenen Meßgenauigkeit entspricht. Bei der Meßgenauigkeit ist zwischen der Meßgenauigkeit der Meßeinrichtung an sich und der Meßgenauigkeit beim Einsatz der Meßeinrichtung an einer Maschine od. dgl. zu unterscheiden. Bei bekannten Meßeinrichtungen und Meßverfahren wird jeweils nur die Meßgenauigkeit der Meßeinrichtung selbst berücksichtigt. Diese kann von verschiedenen Faktoren nachteilig beeinflusst werden. Sieht

man keine besonderen Maßnahmen zur Korrektur vor, dann können bei aufeinanderfolgenden Signalzügen schon im Analogsignal Relativabweichungen auftreten, die bei relativ gleicher Stellung der Abtasteinheit zu den beiden Maßstabeinheiten zu verschiedenen Anzeigen führen können, da sich unterschiedliche Digitalwerte für gleiche Relativstellungen der Abtasteinheiten ergeben. Bei längeren Maßstäben kann es zu periodischen Abweichungen in Signalverlauf und -form kommen. Schließlich können sich auch durch Alterung, geringfügige Änderungen der Relativlagen von Abtasteinheit und Maßstab bei verschiedenen Abtastungen und durch äußere Einflüsse, beispielsweise durch Maßstabverschmutzung, Änderungen der Signalform ergeben. Bisher ist man bestrebt, einen Teil der möglichen Fehler durch eine möglichst exakte Führung der Abtasteinheit am Maßstab zu verhindern bzw. klein zu halten und zum Ausgleich der übrigen bzw. verbleibenden Fehler Korrekturen vorzusehen. Bisher geht man grundsätzlich davon aus, schon die Analogsignale zu korrigieren, so daß dem A/D-Wandler schon korrigierte Analogsignale mit einer bestimmten Form zugeführt werden. Man muß zu diesem Zweck Zwischenspeicherungen der an der Abtasteinheit erhaltenen Analogsignale und Umformungen sowie weitere Beeinflussungen des Signalverlaufes vornehmen, um bei den dem A/D-Wandler zugeführten Signalen etwa gleiche Signalformen, gleich Signalamplituden, gleiche oder keine Gleichspannungsanteile und schließlich gleiche Phasenabstände zu erhalten. Bei einer aus der DE-OS 27 29 627 bekannten Meßeinrichtung bzw. einer Weiterbildung dieser Meßeinrichtung nach DE-OS 30 24 716 werden für die an der Abtasteinheit anfallenden Meßsignale (Analogsignale) Gleichspannungsdetektoren zur Ermittlung der Gleichspannungsanteile, Amplitudendetektoren zur Ermittlung der Amplitudenhöhen und Phasenvergleichler zur Ermittlung der genauen Phasendifferenz zwischen zwei phasenversetzten Analogsignalen vorgesehen. Die an diesen Detektoren bzw. Vergleichern bei einer vollständigen Abtastung des gesamten Maßstabes ermittelbaren Korrekturwerte gegenüber einem vorgegebenen Idealverlauf der Analogsignale werden digitalisiert und gespeichert, wobei bei der bzw. jeder später folgenden tatsächlichen Messung zu dem von jedem abgetasteten Inkrement erhaltenen Signal, das auch schon zur Bildung von Rechtecksignalen über eine Triggerstufe geführt sein kann, ein gespeicherter Korrekturwert abgerufen und erst das so korrigierte Signal der Interpolationsberechnung unterzogen wird. Der Unterschied in der Vorgangsweise zwischen der Ausführung nach der DE-OS 27 29 697 und der Ergänzungskonstruktion nach der DE-OS 30 24 716 besteht darin, daß nach der erstgenannten Literaturstelle weniger Parameter für die Bildung der Korrekturwerte herangezogen werden. Ein grundsätzlicher Nachteil des bekannten Verfahrens besteht darin, daß es notwendig wird, jedem abgetasteten Inkrement des Maßstabes einen oder sogar mehrere Speicherplätze zuzuordnen, wobei bei der Meßabtastung des Maßstabes zu jedem abgetasteten Inkrement die zugeordneten Speicheradressen aufzusuchen und die Korrekturwerte abzurufen sind, wobei die Maßstababtastung mit der Adressensuche synchronisiert sein muß, wofür besondere Maßnahmen an der Meßeinrichtung notwendig werden. Die Einrichtung wird durch die notwendigen Detektoren und Vorspeicher aufwendig und wegen möglicher Fehlersynchronisierungen zwischen Speicheradresse und momentan abgetasteten Maßstabinkrement störungsanfällig. Wegen der Vielzahl der benötigten Speicherplätze muß ein aufwendiger Rechner Verwendung finden. Nachteilig ist ferner der eigene Verfahrensschritt der vollständigen Abtastung des Maßstabes zur Speicherung der Korrekturwerte. Selbst wenn man, was in den genannten Literaturstellen nicht vorgesehen ist, vor jedem Meßvorgang eine Korrekturabtastung unter Speicherung der Korrekturwerte zur Berücksichtigung der durch Alterung, Verschmutzung des Maßstabes oder Änderung der Relativlagen der Abtasteinheit zum Maßstab auftretenden Fehler vornimmt, bleibt trotzdem unberücksichtigt, daß in der Praxis beispielsweise bei Messungen an Werkzeugmaschinen die Korrekturabtastung bei unbelasteter Maschine erfolgt, wogegen die Messung selbst vielfach bei oder nach Belastungen der Maschine und gegebenenfalls bei mit der Abtasteinheit verbundenem, im Einsatz befindlichem Werkzeug erfolgt. Systematische Meßfehler, die daraus entstehen, daß in den meisten Fällen nicht die genaue Messung am Maßstab interessiert, sondern etwa die Relativlagen eines Werkzeuges zu einem Werkstück zu finden sind, wobei der Maßstab nur der eigentlichen Meßstrecke zugeordnet ist, können nicht berücksichtigt bzw. verhindert werden. Solche systematischen Meßfehler entstehen durch Abweichungen des Verlaufes der Meßstrecke vom Verlauf des Maßstabes (Aparallelität) und auch durch Abweichungen der Istposition eines entlang der Meßstrecke verstellbaren Teiles (Werkzeuges), dessen Position zu bestimmen ist, gegenüber einer Sollposition zum Maßstab in der jeweiligen Stellung der Abtasteinheit.

Es wurde schon versucht, Teilungsfehler des Inkrementalmaßstabes dadurch zu berücksichtigen, daß man nach dem Einbau des Maßstabes ihn und einen Eichmaßstab parallel abtastet und in einen Festwertspeicher eine Korrekturabelle für die Abweichungen speichert, wobei die Einzeladressen des Festwertspeichers beim Meßvorgang wieder synchron mit der Meßabtastung angewählt und die in ihnen gespeicherten Korrekturwerte bei der Interpolationsberechnung berücksichtigt werden. Auch hier ist das Problem der genauen Synchronisierung gegeben. Die erwähnten Alterungsfehler und die Fehler durch Verlagerung der Abtasteinheit abhängig vom Betriebszustand der mit dem Meßsystem ausgestatteten Maschine od. dgl. können nicht berücksichtigt werden.

Aufgabe der Erfindung ist eine Verbesserung des Verfahrens und der Meßeinrichtung der eingangs genannten Art, mit dem Ziel, den Anlagenaufwand bei gleichzeitiger Herabsetzung der Störempfindlichkeit und Erzielung einer hohen Genauigkeit zu reduzieren.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, daß der Rechner selbst bei der Messung zur Durchführung entsprechend korrigierter Berechnungen mit bestimmten Bereichen eines bei der Meßabtastung erhaltenen vollständigen Signalzuges der analogen Meßsignale entsprechenden Digitalwerten auf die Korrektur dieser und aller weiteren Signalfolgen kalibriert wird, so daß er aus den ihm zugeführten weiteren Digitalwerten der Meßsignale einen korrigierten Sollverlauf der Signale berechnet und nach diesem die Interpolationsberechnung vornimmt.

Die im nachhinein einfach erscheinende erfindungsgemäße Lösung geht von der Überlegung aus, daß aufeinanderfolgende Signale ähnlich sind und es schon mit von einem einzigen vollständigen Signalzug bzw. nur von bestimmten Stellen dieses Signalzuges möglich ist, den Rechner zu kalibrieren, also im Rechner einen idealen Verlauf des digitalisierten Meßsignales festzulegen und dabei die erwähnten Korrekturen hinsichtlich der Phasenlage, der Signalgröße, des Gleichspannungsanteiles usw. festzulegen bzw. zu ermitteln.

Im einfachsten Fall wird der Rechner mit dem Maximum bzw. Minimum des jeweils ersten, bei einer Messung auftretenden vollständigen Signalzuges der zugeführten, digitalisierten Meßsignale kalibriert. Man kann aber, wenn man eine aufwendige Schaltung in Kauf nimmt, den Rechner auch mit einer je einem vollständigen Signalzug der Meßsignale entsprechenden Folge von Digitalwerten kalibrieren.

Da schon beim ersten vollständigen Signalzug alle Korrekturdaten ermittelt werden, läßt sich der gesamte Meßvorgang wesentlich vereinfachen, da die Kalibrierung zu Meßbeginn erfolgt und nicht wie bisher unabhängig vom Meßvorgang eine vollständige Korrekturtabelle gespeichert werden muß. Bei entsprechender Steuerung des Rechners kann man sogar die Kalibrierung vor jeder Messung bzw. als Bestandteil dieser Messung durchführen. Für die tatsächliche Ermittlung des Meßergebnisses benötigt man in weiterer Folge nur die Anzahl der vollständigen Zählschritte, die im einfachsten Fall unmittelbar von einer Zähleinrichtung geliefert werden und die exakten Größen der ergänzenden Maßstabteilungsbruchteile. Dabei kann man im Rechner Verschiebungen der Maxima und Minima des durch die Kalibrierung bestimmten idealen Signalverlaufes berücksichtigen. Gleiches gilt für andere markante Stellen im Signalverlauf, beispielsweise die Nulldurchgänge. Der am Ende eines Meßvorganges anstehende Digitalwert wird im Rechner entsprechend der Kalibrierung umgeformt und auf den idealen Signalverlauf interpoliert.

Nach einer Möglichkeit könnte man vorschlagen, vor jeder Messung eine geringfügige Verstellung der Abtasteinheit vorzusehen, um dabei den Rechner zu kalibrieren. Es ist aber vorteilhafter, wenn die Kalibrierung gleich beim Meßvorgang erfolgt. Um hier zu gewährleisten, daß auch für jene Teile eines Maßstabinkrementes, die vor der Erzeugung des vollständigen Signalzuges abgetastet werden, eine Auswertung entsprechend der Kalibrierung erfolgt, wird vorgesehen, daß die bei dem Beginn einer Messung vor der Kalibrierung des Rechners durch die den ersten vollständigen Signalzug entsprechenden Digitalwerte anstehenden, einem abgetasteten Meßteilungsbruchteil zugeordneten Digitalwerte im Rechner gespeichert und bei der weiteren Messung, insbesondere am Ende der Messung (Stillstand der Abtasteinheit) über den kalibrierten Rechner abgerufen und so in dem der Anzeige- bzw. Auswerteeinheit zugeführten Ergebnis in korrigierter Form berücksichtigt werden.

Beim erfindungsgemäßen Verfahren werden die Analogsignale vor der Digitalisierung nicht korrigiert. Dies ermöglicht in weiterer Folge Maßnahmen bzw. Korrekturen, die bei den bekannten Verfahren vom System her ausgeschlossen sind. Während man nämlich bisher einen möglichst idealen Verlauf der Analogsignale anstrebte, kann man beim erfindungsgemäßen Verfahren in einer Weiterbildung von der Überlegung ausgehen, daß Abweichungen der Signalform von einem Idealverlauf, zumindest bestimmte Formen der Abweichungen, auch mit einem möglicherweise auftretenden, systematischen Meßfehler verknüpft sein können. Nach einer beim erfindungsgemäßen Verfahren auswertbaren Erkenntnis können Änderungen der relativen Phasenlage der Signale und ihrer Gleichspannungsanteile mit geringen Schrägstellungen der Abtasteinheit gegenüber dem Maßstab zusammenhängen. Normalerweise werden die analogen Meßsignale durch Abtastung des Maßstabes über wenigstens zwei Gitter erzeugt, wobei die Gitter die gleiche Inkrementalteilung wie der Maßstab aufweisen, so daß bei gleich großen Hell- und Dunkelfeldern das Signalminimum hinter einem Gitter auftritt, wenn hier die Hellfelder des Maßstabes durch die Dunkelfelder des Gitters abgedeckt sind. Das Meßsignal erreicht ein Maximum, wenn die Dunkelfelder von Maßstab und Gitter fluchten. Bei leichter Schrägstellung des Gitters gegenüber dem Maßstab kommt es zu keiner vollständigen Abdeckung der Hellfelder durch die Dunkelfelder und auch zu keiner vollständigen Freigabe der Hellfelder. Die beiden Gitter sind auf der Abtasteinheit miteinander verbunden. Eine Schrägstellung der Abtasteinheit gegenüber dem Maßstab führt zu einer Verkürzung des Abstandes zwischen den beiden Abtastgittern in Abtastrichtung im Ausmaß des Cosinus des Verkantungswinkels. Dies bedingt eine Änderung der relativen Phasenlage der beiden Signalzüge. Die Phasenlage kann also ein Maß für die Verkantung sein. Auch andere Abweichungen vom Sollverlauf der analogen Meßsignale können bestimmte Zustände beim Meßvorgang anzeigen. Alle diese zusätzlichen Informationen können beim erfindungsgemäßen Verfahren ausgenützt werden.

Nach einer dieser Möglichkeiten wird die Berechnung des Meßergebnisses auf eine Meßstrecke bezogen, der der Maßstab zugeordnet ist, wobei Abweichungen des Verlaufes der Meßstrecke vom Verlauf des Maßstabes und/oder

der Istposition eines entlang der Meßstrecke verstellbaren Teiles, dessen Position zu bestimmen ist, gegenüber einer Sollposition bei der jeweiligen Stellung der Abtasteinheit am Maßstab erfaßt und aus ihnen dem Rechner zugeführte Korrekturwerte bestimmt werden. Verläuft etwa die Meßstrecke, die die Achse eines zu bearbeitenden Werkstückes sein könnte, nicht exakt parallel zum Maßstab, dann werden am Maßstab bei normaler Messung nicht die exakten Werkstückmaße, sondern die Maßstababmessungen ermittelt. Auch kann ein Werkzeug, das verstellt wird, etwa bei Belastungen seine Relativlage zur Abtasteinheit des Maßstabes, mit der es verstellt wird, ändern. Die entsprechenden Meßfehler können wesentlich größer sein als bei der Interpolationberechnung auftretende Fehler, ja sogar die Größenordnung von einigen Zählschritten erreichen. Dieser Fehler wird durch die angegebenen Verfahrensschritte beseitigt. An und für sich können die erwähnten Abweichungen mit Hilfe eigener Fühler erfaßt und dem Rechner als vom ihm auswertbare Signale zugeführt werden. Man kann aber auch Änderungen im Signalverlauf der analogen Meßsignale als Maß heranziehen. Hier sieht eine Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens vor, daß bei Verwendung einer Abtasteinrichtung, die mit dem entlang der Meßstrecke verstellbaren Teil gekuppelt und quer zur Maßstablängsrichtung zumindest in der Abtastebene verstellbar angebracht wird, so daß sie zumindest teilweise einem vom Maßstab abweichenden Verlauf der Meßstrecke folgen kann, Änderungen des Gleichspannungsanteiles der Meßsignale und/oder ihrer Phasenlage im Rechner als Maß für diese Abweichung berücksichtigt und dem Rechner als Korrekturwert eingegeben werden.

Eine erfindungsgemäße Meßeinrichtung der eingangs genannten Art ist dadurch gekennzeichnet, daß die Korrekturstufe des Rechners beim Meßvorgang jeweils über Digitalwerte kalibrierbar ist, die vorbestimmten Bereichen eines vollständigen Signalzuges der bei der Abtastung mittels der Abtasteinheit erhaltenen, analogen Meßsignale entsprechen, so daß der Rechner bei der Auswertung und Interpolationsberechnung der beim weiteren Meßvorgang folgenden Signalzüge entsprechend dieser Kalibrierung korrigiert.

Nach einer bevorzugten Ausführung ist der Rechner für die Kalibrierung über den A/D-Wandler mit an den analogen Meßsignalen liegenden Maxima-Minima-Detektoren verbindbar.

Ein Teil der Speichereinrichtung des Rechners kann als Vorspeicher für vor dem bzw. den ersten vollständigen Signalzügen anstehende, einen abgetasteten Teilungsbruchteil der Meßteilung am Maßstab repräsentierende Digitalwerte geschaltet sein, der über eine Abfrageeinheit über die kalibrierte Korrekturstufe abrufbar ist. Dies ermöglicht es, die Meßeinrichtung erst zu Beginn einer Messung zu kalibrieren und trotzdem die Interpolationsberechnung des vor dem ersten vollständigen Signalzug auftretenden, einem Inkrementbruchteil entsprechenden Signalteilwertes auf die Kalibrierung zu beziehen.

Für die Ausnützung der in Signaländerungen enthaltenen bzw. durch diese Änderungen ausdrückbaren Informationen ist bei einer Meßeinrichtung mit einem Strichgittermaßstab und einer wenigstens zwei Ablesegitter mit entsprechender Teilung aufweisenden Ableseeinheit zur Erzeugung der phasenverschobenen analogen Meßsignale vorgesehen, daß die Abtasteinheit in der Abtastebene quer zur Meßrichtung gegenüber dem Maßstab begrenzt verstellbar angebracht ist und die Ablesegitter gegeneinander geneigt (aparell) sind, so daß bei der Abtastung des Maßstabes auftretende Änderungen der Phasenlage und/oder der Gleichspannungsanteile der analogen Meßsignale als Maß für die Querverstellung bzw. Verschwenkung der Ableseeinheit gegenüber dem Maßstab erfaßbar sind.

Bei dieser Ausführung ergibt sich in den den Ablesegittern zugeordneten Empfängern in der Normalstellung gegenüber dem Maßstab bei den erzeugten Signalen eine bestimmte Phasenlage und ein bestimmter Gleichspannungsanteil. Wird die Ableseeinheit verkantet, so nähern sich die Rasterstriche des einen Gitters der Parallellage mit den Teilungsstrichen des Maßstabes, wogegen die Neigung der Rasterstriche des anderen Gitters zu den Teilungsstrichen des Maßstabes zunimmt. Bei einer Verkantung in der anderen Richtung treten die umgekehrten Zustände auf. Der Gleichspannungsanteil in jenem Signal, das über das sich der Parallellage zu den Maßstabteilstrichen nähernden Gitter erzeugt wird, wird ab- und die Signalamplitude zunehmen. Beim anderen Gitter wird der Gleichspannungsanteil mit zunehmender Neigung zu- und die Signalamplitude abnehmen, so daß aus diesen Werten die Neigungsrichtung und die exakte Neigung bestimmt werden kann. Es ändert sich auch die relative Phasenlage der Signale. Bei den meisten Meßeinrichtungen wird mit vier Gittern gearbeitet und die ihnen zugeordneten Empfänger sind paarweise in Antiparallelschaltung verbunden. Bei entsprechender Gitteranordnung sind hier aus der Signalform und -lage noch genauere Aussagen über Verkantungen usw. erzielbar.

Verkantungen lassen sich auch über zusätzlich abtastbare Spuren am Maßstab feststellen. Die Ermittlung der Abweichungen ermöglicht es bei der Interpolationsberechnung exakte Werte über diese Verkantung zu erhalten und das Ausmaß der Verkantung bei der Berechnung zu berücksichtigen. Ferner läßt sich die Messung insgesamt nicht auf den Maßstab, sondern auf eine Meßstrecke und einen ihr entlang verstellbaren Teil beziehen.

In der Zeichnung ist der Erfindungsgegenstand beispielsweise veranschaulicht. Es zeigen Fig. 1 eine erfindungsgemäße Meßeinrichtung im Blockschaltschema und Fig. 2 einen möglichen Signalverlauf von bei der Abtastung erhaltenen Analogsignalen und daraus berechneten normierten Signalen.

Beim Ausführungsbeispiel wurde ein Linearmaßstab dargestellt, der eine Inkrementalteilung aufweist. In gleicher Weise könnte auf einem bogen- oder kreisförmigen Träger eine inkrementale Winkelteilung vorgesehen sein. Zur

Abtastung des Maßstabes (1) wird eine Abtasteinheit (2) vorgesehen. Bei einer optoelektronischen Abtastung enthält die Abtasteinheit (2) Beleuchtungseinrichtungen für den Maßstab, Abtastgitter mit der Maßstabteilung entsprechender Teilung, die gegeneinander zusätzlich zu ihrem Versatz um mehrere ganze Teilungsinckremente auch um im voraus genau bestimmte Bruchteile der Maßstabteilung versetzt sind, und lichtempfindliche Sensoren, beispielsweise Phototransistoren, die bei der Relativverstellung der Abtasteinheit (2) gegenüber dem Maßstab (1) ihrer Beleuchtungsänderung durch das zugeordnete Gitter entsprechende Signale erzeugen. Diese Signale werden in weiterer Folge als analoge Meßsignale bezeichnet. Beim Ausführungsbeispiel wird angenommen, daß zwei in ihrer Grundform sinusförmige Signalzüge erzeugt werden, deren Signallänge einer aus einem Hell- und Dunkelfeld bestehenden Maßstabeinheit entspricht und die gegeneinander um einen Sollwert von 90° phasenverschoben sind. Die Signale, die man auch als "Sinus- und Cosinus"-Signal bezeichnen könnte, werden auf Leitungen (3), (4) gelegt und schließlich über einen Rechner (5) ausgewertet, dem eine Anzeige- oder Steuereinheit (6) nachgeordnet ist.

Der Rechner (5) erhält einerseits über eine Leitung (7) Zähl- oder Synchronisiersignale und wird andererseits von einem A/D-Wandler (8) her mit Digitalwerten beaufschlagt.

Für die Erzeugung der dem Rechner (5) über die Leitung (7) zuzuführenden Signale werden die auf den Leitungen (3), (4) liegenden analogen Meßsignalen über Komperatoren bzw. Triggerstufen (9), (10) jeweils beim Nulldurchgang in Rechtecksignale umgewandelt, die an einen Richtungsdiskriminator (11) gelegt werden, der daraus, welches der beiden auf den Leitungen (3), (4) liegenden Signale dem anderen voreilt, die jeweilige Verstellrichtung der Abtasteinheit (2) gegenüber dem Maßstab (1) bestimmt, also als Richtungserkennungsstufe dient und auf eine Leitung (12) ein Richtungssignal legt. Beim Ausführungsbeispiel wird dieses Richtungssignal zur Steuerung eines Zählers (13) verwendet, dem auch das eine der umgeformten Meßsignale zugeführt wird, so daß er entsprechend den Flanken des Rechtecksignales zählt, wobei die Zählrichtung über die Leitung (12) eingesteuert wird. Die Zählsignale werden auf die Leitung (7) gelegt. Bei entsprechender Organisation des Rechners (5) sind auch Ausführungen möglich, bei denen der Rechner (5) nur Richtungserkennungssignale erhält. Der andere Extremfall besteht darin, über den Zähler (13) einen Teil der Anzeige (6) unmittelbar zu steuern, über die Zählsignale nur eine Synchronisierung des Rechners (5) vorzunehmen und den Rechner (5) nur für die Interpolationsberechnung von Teilungsinckrementen auszunützen.

Beim Ausführungsbeispiel wird angenommen, daß der Rechner (5) über die Leitung (7) mit den Zählsignalen beaufschlagt wird.

Zur Verringerung des Schaltungsaufwandes und um insbesondere nur mit einem A/D-Wandler (8) das Auslangen zu finden, wird beim Ausführungsbeispiel ein Multiplexer (14) - also praktisch ein elektronischer Umschalter - verwendet. Dieser Multiplexer (14) erhält vom Rechner (5) über eine Leitung (15) Steuerbefehle und verbindet entsprechend diesen Befehlen seine Eingänge (16 - 19) mit einem zum A/D-Wandler (8) führenden Ausgang (20). Die Eingänge (16) und (17) liegen an Maxima- Minima-Detektoren (21), (22), die an die Leitungen (3), (4), anschließen, wogegen die Eingänge (18) und (19) unmittelbar mit den Leitungen (3), (4) verbunden sind, also mit den analogen Meßsignalen beaufschlagt werden. Am Multiplexer (14) bzw. A/D-Wandler (8) können wie üblich latch and hold- Einrichtungen vorgesehen werden und der A/D-Wandler (8) wird mit Vorspeichern versehen.

Am A/D-Wandler (8) liegen beim Einschalten des Systems über die Eingänge (18), (19) zugeführte, analoge Meßsignale an, die der momentanen Stellung der Abtasteinheit über der Meßteilung entsprechen und deren jeweilige Größe dem Ausmaß der Abdeckung der Inkremente der Meßteilung durch die Gitterinkremente entspricht. Diese Werte werden digitalisiert und in einen Speicher des Rechners (5) eingegeben. Beim weiteren Meßverlauf werden, sofern eine Verstellung um wenigstens ein Doppelinkrement erfolgt ist, die Maxima und Minima der auf den Leitungen (3), (4) liegenden analogen Meßsignale über die Detektoren (21), (22) festgestellt und über den Multiplexer (14) dem A/D-Wandler (8) und damit dem Rechner (5) zugeführt. Der Rechner wird durch diese Werte kalibriert und berechnet aus ihnen einen Sollverlauf der Meßsignale. Nach der Kalibrierung ist der Rechner (5) in der Lage, jedem ihm zugeführten an den Eingängen (18), (19) anliegenden analogen Meßsignalwert, der im A/D-Wandler (8) digitalisiert wird, einen entsprechenden Wert am idealen Signalverlauf zuzuordnen und nach diesem Wert die Interpolationsberechnung vorzunehmen.

Bei der weiteren Messung werden die analogen Signale aus den Leitungen (3), (4) über die Eingänge (18), (19) des Multiplexers (14) nacheinander auf den A/D-Wandler abgefragt. Die zugeordneten Digitalwerte werden dem Rechner zugeführt und in diesem, soweit erforderlich, entsprechend der Kalibrierung umgerechnet. Aus den Zählsignalen, die über die Leitung (7) zugeführt werden und die im Extremfall nur der Synchronisierung zu dienen brauchen, und den auf den Sollverlauf bezogenen digitalisierten Meßsignalen, wird im Rechner (5) die Ist-Position berechnet und der Anzeige (6) zugeführt. Bei der Interpolationsberechnung erfolgt die Unterteilung des Maßstabes in kleinere Einheiten, beispielsweise in Mikrometer und Zehntelmikrometer. Zur genauen Positionsbestimmung ist es an sich nur notwendig, die zwischen Meßbeginn und Meßende liegenden vollen Maßstabteilstücke zu erfassen und die Bruchteile der Maßstabteilung vor dem ersten vollen Teilstück - bezogen auf das analoge Meßsignal - vor dem ersten Nulldurchgang oder - bezogen auf das korrigierte Signal - vor dem ersten Nulldurchgang bzw. den ersten

Maxima oder Minima des korrigierten Signales und ab dem letzten charakteristischen Punkt (Nulldurchgang usw.) des Signales zu erfassen und elektronisch zu interpolieren. Aus dem zu Beginn der Messung festgehaltenen Speicherwert wird zu diesem Zweck ein Korrekturwert über die Kalibrierung des Rechners gebildet und der Abstand dieses Korrekturwertes vom ersten charakteristischen Punkt des korrigierten Signales berechnet. Aus der Summe dieses Rechenergebnisses und aus der entsprechenden Berechnung des Inkrementalbruchteiles nach dem letzten charakteristischen Wert des korrigierten Signales sowie aus dem festgehaltenen Ergebnis der Summe der Anzahl der Null- Maxima- oder Minima-Durchgänge bildet der Rechner (5) das entgültige Anzeigeergebnis.

Die dargestellte Schaltung stellt eine Sparschaltung dar. Es wäre auch möglich, beide analoge Meßsignale über an die Leitungen (3), (4) anschließende A/D-Wandler zu führen und die Digitalwerte gleich auf den Rechner (5) zu legen. Dabei würde der Rechner nicht mit den Maxima- und Minima-Werten allein, sondern jeweils mit dem ersten anfallenden vollständigen Signalzug der analogen Meßsignale - natürlich in digitalisierter Form - kalibriert.

Im Rechner (5) wird eine Korrektur der Signale bezüglich der gegenseitigen Phasenlage, des Gleichspannungsanteiles und des Verlaufes vorgenommen. Man kann aber auch den umgekehrten Weg gehen und bei der Berechnung Änderungen der Phasenlage und des Gleichspannungsanteiles der Signale berücksichtigen. Dabei kann man eine Verstellmöglichkeit der Abtasteinheit (2) gegenüber dem Maßstab (1) in der Abtastebene vorsehen und durch entsprechende Gitter- bzw. Maßstabausbildung erreichen, daß die Änderung der Gleichspannungsanteile und der Phasenlage ein Maß für die Verstellung der Abtasteinheit gegenüber der Sollage (vorbestimmte Fluchtstellung zum Maßstab) werden. Verbindet man die Abtasteinheit mit einem Werkzeug und gibt man in den Rechner (5) noch den Abstand des Werkzeugeingriffspunktes vom Maßstab ein, so kann man das Vor- bzw. Nacheilen dieses Werkzeugeingriffspunktes gegenüber dem Abtastpunkt der Abtasteinheit über die auftretende Schrägstellung der Abtasteinheit bzw. die dadurch erzeugten Änderungen der Gleichspannungsanteile und der Phasenlage der Meßsignale ermitteln und im Bedarfsfall an der Anzeige gleich die echte Position des Werkzeugeingriffspunktes und nicht die Meßposition, die das zum Beispiel durch Belastung auftretende Vor- bzw. Nacheilen des Werkzeuges nicht berücksichtigt, darstellen. In gleicher Weise kann ein schräger Verlauf des Maßstabes gegenüber einer Meßstrecke kompensiert werden.

Die Normierung der Signale auf einen korrigierten Sollverlauf soll an Hand der Fig. 2 der Zeichnung näher erläutert werden. In dieser Fig. 2 sind übereinander in vereinfachter Darstellungsweise jeweils ein bei der Abtastung des Inkrementalmaßstabes tatsächlich erhaltenes Sinussignal und ein gegenüber diesem Sinussignal phasenverschobenes Cosinussignal sowie darunter die aus diesen Signalen im Rechner gewonnenen und der Berechnung zugrundegelegten korrigierten Signale dargestellt.

Der in Fig. 2 oben dargestellte tatsächliche Verlauf der Signale gibt folgendes Bild:

Das aus der Abtastung des Inkrementalmaßstabes erhaltene Sinussignal hat einen Gleichspannungspegel, der gegenüber dem erwünschten Nullpegel um einen bestimmten Wert verschoben ist. Beim Ausführungsbeispiel wird angenommen, daß auch die tatsächlichen Amplituden des Sinus- und Cosinussignales verschieden sind, wobei das Cosinussignal einen negativen Gleichspannungspegel enthält.

Für die Interpolationsberechnung sind die beiden Signale ohne sonstige Maßnahmen nicht brauchbar. Zur Erzielung brauchbarer, auf eine bestimmte Amplitudenhöhe normierter Signale (Fig. 2 unten) wird wie folgt vorgegangen:

Durch Spitzendetektion werden zunächst die Maximal- und Minimalwerte des Sinus- und Cosinussignales, bezogen auf die Nulllinie detektiert. Der Gleichspannungspegel der beiden Signale läßt sich wie folgt berechnen:

$$DC_{\text{Offset sin}} = \sin \max. - \sin \min. \quad (I)$$

$$DC_{\text{Offset cos}} = \cos \max. - \cos \min.$$

Die mittlere Amplitudenhöhe bzw. die tatsächliche, auf die um den DC-Anteil versetzte Nulllinie bezogene Amplitudenhöhe der beiden Signale ergibt sich wie folgt:

$$A_{\sin} = \frac{\sin \max. - \sin \min.}{2} \quad (II)$$

$$A_{\cos} = \frac{\cos \max. - \cos \min.}{2}$$

Dabei ist vorzeichenrichtig zu subtrahieren, d. h. im Nenner scheint die Summe der Absolutwerte des jeweiligen

Maximums und Minimums auf.

Die nächste Korrekturstufe besteht darin, das anstehende Sinus- bzw. Cosinussignal auf die Normalamplitudenhöhe (Fig. 2 unten) zu bringen, d. h. diese Normalamplitudenhöhe aus der tatsächlichen Amplitudenhöhe zu berechnen. Um dies zu ermöglichen, werden für das anstehende Signal Korrekturfaktoren (k_{\sin} bzw. k_{\cos}) nach den Formeln

$$\frac{A_N}{A_{\sin}} = k_{\sin} \quad (III)$$

$$\frac{A_N}{A_{\cos}} = k_{\cos}$$

berechnet, in welchen Formeln A_N die für beide Signale gleich angenommene Normalamplitudenhöhe (Maximalwert) bedeutet.

Aus obigen Überlegungen kann nun im Rechner eine Normierung des Eingangssignales in zwei Schritten vorgenommen werden. Im ersten Schritt wird der Gleichstrompegel (DC_{offset}) eliminiert, so daß die in Fig. 2 oben dargestellten Sinus- bzw. Cosinussignale rechnerisch um den jeweiligen Gleichspannungsanteil versetzt werden, also auf die Normalnullinie bezogen sind. Um dies zu erreichen, wird das anstehende Sinus- bzw. Cosinussignal (also nicht mehr die detektierten Maximalwerte) im Rechner mit dem jeweiligen Gleichspannungspegel verknüpft. Es ergeben sich dann vom Gleichspannungspegel befreite, berechnete Signale $\overline{\sin a}$ und $\overline{\cos a}$ nach der Formel

$$\overline{\sin a} = \sin a - DC_{\text{offset}} \sin \quad (IV)$$

$$\overline{\cos a} = \cos a - DC_{\text{offset}} \cos$$

Im zweiten Schritt wird die Normierung auf die Normalamplitude nach der Formel

$$\sin_N a = \overline{\sin a} \times k_{\sin} \quad (V)$$

$$\cos_N a = \overline{\cos a} \times k_{\cos}$$

berechnet.

Beim Betrieb der Meßeinrichtung wird angenommen, daß die Normierung für eine Reihe von aufeinanderfolgenden Signalzügen des gleichen Signales gleichbleiben kann d. h., daß sich DC-Pegel und Korrekturfaktoren nicht ändern. Das Rechnerprogramm kann so gewählt werden, daß der Rechner immer dann, wenn die Abtastgeschwindigkeit des Maßstabes unter einen bestimmten Wert sinkt, neue an den Detektoren anstehende Spitzenwerte erfaßt und daraus die DC-Pegel und die Korrekturwerte für die folgenden Korrekturen neu berechnet.

Für die Interpolationsberechnung werden vorteilhaft jene Bereiche der Meßsignale bzw. der normierten Meßsignale herangezogen, in denen diese einen möglichst linearen Verlauf besitzen. Es ist daher vorteilhaft, sofern man keine brauchbaren Dreieckssignale an Stelle der Sinus- und Cosinussignale zur Verfügung hat, jeweils nur bestimmte Bereiche des Signalverlaufes für die Interpolationsberechnung heranzuziehen. Dazu werden, vereinfacht ausgedrückt, zu jedem möglichen Absolutwert des normierten Sinus- bzw. Cosinussignales in einer Interpolationstabelle des Rechnerspeichers oder eines angeschlossenen Speichers Interpolationswerte gespeichert.

Der "mögliche" Absolutwert wird, wie erwähnt, im Bereich des linearen Verlaufes des Sinus- bzw. Cosinussignales erfaßt. Der Rechner wird zusätzlich durch die sich beim Nulldurchgang der normierten Signale erfaßbaren Taktsignale gesteuert. Eine "Länge" ergibt sich aus der Summe der genannten beim Nulldurchgang ausgetriggerten Taktsignale und der über die Anzahl der Taktsignale hinaus erfaßten Signalfragmente, die der Interpolationsberechnung aufgrund des Momentanwertes des jeweiligen Signales unterzogen werden. Über die "Taktsignale" kann man auch eine Umschaltung vornehmen, in der für die Interpolationsberechnung vom Sinus- auf das Cosinussignal (\sin_N bzw. \cos_N) und umgekehrt umgeschaltet wird. Die Interpolationstabelle kann für die Interpolation nach \sin_N bzw. \cos_N gleichbleiben. Durch die bei den Nulldurchgängen erfaßten Taktsignale wird der jeweilige Modus der Interpolationsberechnung vorbestimmt. Bezogen auf das Signal kann die Interpolationsberechnung (Fig. 2 unten) von 0 bis 45° dem \sin_N -Signal dann von 45 bis 135° dem \cos_N -Signal von 135 bis 200° wieder dem \sin_N -Signal usw. folgen.

Den obigen Ausführungen liegt die Annahme zugrunde, daß die Signalform bei der Meßeinrichtung erhalten bleibt. Oben wurde auch angenommen, daß die Phasenverschiebung von $\sin_N a$ und $\cos_N a$ 90° beträgt.

PATENTANSPRÜCHE

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1. Verfahren zum Auswerten von Meßsignalen, die durch Abtastung, insbesondere optoelektronische Abtastung eines Inkrementalmaßstabes mit einer Abtasteinheit erhalten werden, wobei wenigstens zwei analoge, in ihrer Grundform sinusförmige und gegeneinander phasenverschobene Signale mit der Meßteilung des Inkrementalmaßstabes entsprechender Signallänge erzeugt und diese Meßsignale über einen Rechner ausgewertet werden, der eine Anzeige bzw. Auswerteeinheit steuert, wobei für die Auswertung einerseits die analogen Meßsignale einer Richtungserkennungsstufe zur Bestimmung der Zählrichtung und zur Erzeugung eines entsprechenden Steuersignales zugeleitet, sowie gegebenenfalls wenigstens eines von ihnen über Umformer und Triggerstufen zur Erzeugung von an bestimmten Signalstellen getriggerten Zählsignalen geführt und andererseits die analogen Meßsignale auf wenigstens einen A/D-Wandler gelegt werden, wobei dem Rechner sowohl das Richtungssignal und das gegebenenfalls erzeugte Zählsignal als auch die am A/D-Wandler anstehenden Digitalwerte zugeführt werden, so daß das Meßergebnis als Summe aus dem sich aus den durchlaufenen vollen Signalzügen der Meßsignale ergebenden Teilwert und einem sich durch Interpolationsberechnung der Signalwertbruchteile aus den anstehenden Digitalwerten ergebenden Teilwert erhalten wird, wobei für die Interpolationsberechnung im Rechner Korrekturen nach zur Berücksichtigung von Abweichungen im Signalverlauf der analogen Meßsignale bei an verschiedenen Meßteilungsinkrementen erzeugten Signalteilen, insbesondere bezüglich der Amplitudenhöhe, der Gleichspannungsanteile und der Phasendifferenz ermittelten Korrekturwerten vorgenommen werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Rechner selbst bei der Messung zur Durchführung entsprechend korrigierter Berechnungen mit bestimmten Bereichen eines bei der Meßabtastung erhaltenen vollständigen Signalzuges der analogen Meßsignale entsprechenden Digitalwerten auf die Korrektur dieser und aller weiteren Signalfolgen kalibriert wird, so daß er aus den ihm zugeführten weiteren Digitalwerten der Meßsignale einen korrigierten Sollverlauf der Signale berechnet und nach diesem die Interpolationsberechnung vornimmt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Rechner mit dem Maximum bzw. Minimum des jeweils ersten, bei eigener Messung auftretenden vollständigen Signalzuges der zugeführten, digitalisierten Meßsignale kalibriert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Rechner mit einer je einem vollständigen Signalzug der analogen Meßsignale entsprechenden Folge von Digitalwerten kalibriert wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die bei Beginn einer Messung vor der Kalibrierung des Rechners durch die dem ersten vollständigen Signalzug entsprechenden Digitalwerte anstehenden, einen abgetasteten Meßteilungsbruchteil zugeordneten Digitalwerte im Rechner gespeichert und bei der weiteren Messung, insbesondere am Ende der Messung (Stillstand der Abtasteinheit) über den kalibrierten Rechner abgerufen und so in dem der Anzeige bzw. Auswerteeinheit zugeführten Ergebnis in korrigierter Form berücksichtigt werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Berechnung des Meßergebnisses auf eine Meßstrecke bezogen wird, der der Maßstab zugeordnet ist, wobei Abweichungen des Verlaufes der Meßstrecke vom Verlauf des Maßstabes und/oder der Ist-Position eines entlang der Meßstrecke verstellbaren Teiles, dessen Position zu bestimmen ist, gegenüber einer Sollposition bei der jeweiligen Stellung der Abtasteinheit am Maßstab, erfaßt und aus ihnen dem Rechner zugeführte Korrekturwerte bestimmt werden.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei Verwendung einer Abtasteinrichtung die mit dem entlang der Meßstrecke verstellbaren Teil gekuppelt und quer zur Maßstablängsrichtung zumindest in der Abtastebene verstellbar angebracht wird, so daß sie zumindest teilweise einem vom Maßstab abweichenden Verlauf der Meßstrecke folgen kann. Änderungen des Gleichspannungsanteiles der Meßsignale und/oder ihrer Phasenlage im Rechner als Maß für diese Abweichung berücksichtigt bzw. erfaßt und dem Rechner als Korrekturwert eingegeben werden.

7. Meßeinrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6, mit einer Auswerteeinheit für wenigstens zwei mittels einer Abtasteinheit bei der Relativverstellung gegenüber einem Inkrementalmaßstab erzeugte, analoge, gegeneinander phasenverschobene und in ihrer Grundform sinusförmige Meßsignale, bei denen

ein vollständiger Signalzug einem abgetasteten Teilungspaar auf der Inkrementalteilung entspricht, wobei die Auswerteeinheit für die analogen Signale einerseits eine Richtungserkennungsstufe sowie eine Umformer- bzw. Triggerstufe zur Erzeugung von insbesondere beim Nulldurchgang der Signale getriggerten Zählsignalen und andererseits wenigstens einen A/D-Wandler aufweist und ein Rechner vorgesehen ist, der mit dem A/D-Wandler, der Richtungserkennungsstufe und der Umformer- bzw. Triggerstufe verbunden ist und der aus anstehenden Digitalwerten entsprechend der jeweiligen Zwischenstellung der Abtasteinheit Interpolationswerte für die Zählsignale errechnet und entsprechend dem momentanen Zähl- bzw. Interpolationswert eine Anzeige- bzw. Auswerteeinheit steuert, wobei der Rechner wenigstens eine Korrekturstufe zur Berücksichtigung von Änderungen im Signalverlauf der an verschiedenen Meßteilungsinkrementen erzeugten Signalteile aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Korrekturstufe des Rechners (5) beim Meßvorgang jeweils über Digitalwerte kalibrierbar ist, die vorbestimmten Bereiche eines vollständigen Signalzuges der bei der Abtastung mittels der Abtasteinheit (2) erhaltenen, analogen Meßsignalen entsprechen, so daß der Rechner (5) bei der Auswertung und Interpolationsberechnung der beim weiteren Meßvorgang folgenden Signalzüge entsprechend dieser Kalibrierung korrigiert.

8. Meßeinrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Rechner (5) für die Kalibrierung über den A/D-Wandler mit an den analogen Meßsignalen liegendem Maxima-Minima-Detektoren (21, 22) verbindbar ist.

9. Meßeinrichtung nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Teil der Speichereinrichtung des Rechners (5) als Vorspeicher für vor dem bzw. den ersten vollständigen Signalzügen anstehende, einen abgetasteten Teilungsbruchteil der Meßteilung am Maßstab (1) repräsentierende Digitalwerte geschaltet ist, der über eine Abfrageeinheit über die kalibrierte Korrekturstufe abrufbar ist.

10. Meßeinrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, mit einem Strichgittermaßstab und einer wenigstens zwei Ablesegitter mit entsprechender Teilung aufweisenden Ableseeinheit zur Erzeugung der phasenverschobenen, analogen Meßsignale, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Ableseeinheit (2) in der Abtastebene quer zur Meßrichtung gegenüber dem Maßstab (1) begrenzt verstellbar angebracht ist und die Ablesegitter gegeneinander geneigt (a-parallel) sind, so daß bei der Abtastung des Maßstabes auftretende Änderungen der Phasenlage und/oder der Gleichspannungsanteile der analogen Meßsignale als Maß für die Querverstellung bzw. Verschwenkung der Ableseeinheit gegenüber dem Maßstab erfaßbar sind.

Hiezu 2 Blatt Zeichnungen

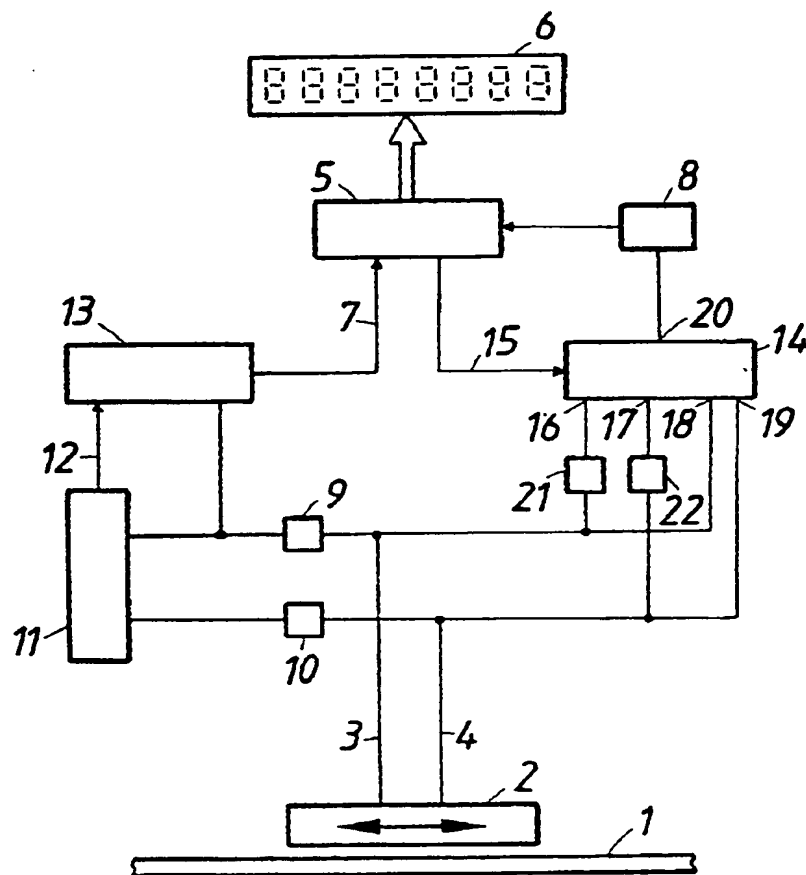


FIG. 2

